



KAJIEKSPERIMENTAL EFEK SWIRL FAN TERHADAP PENDINGINAN CROSSCUT FIN PADA RENTANG DAYA 95 - 120 WATT

Bambang Yunianto¹⁾

Abstrak

Laporan Penelitian ini membahas tentang pengaruh penggunaan swirl fan terhadap perpindahan kalor heat sink. Setelah melewati fan, udara disebarkan oleh fan menyebabkan terjadinya swirl pada aliran udara. Dalam aliran swirl ini, arah dan besar kecepatan aliran udara telah diubah. Pada pengujian kali ini, efek swirl fan digunakan pada pendinginan heat sink jenis crosscut. Perbandingan dilakukan antara hasil pengujian dengan penggunaan dan tanpa penggunaan swirl fan. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa aliran udara ter-swirl dapat meningkatkan laju pendinginan heat sink dengan berkurangnya hambatan termal case terhadap udara, θ_{ca} . Dalam pengujian ini terdapat tiga variasi kecepatan aliran udara pendingin yang diberikan, yaitu 2,8 m/s; 4,3 m/s; dan 6,6 m/s. Berdasarkan hasil pengujian, kecepatan aliran udara pendingin 2,8 m/s memberikan laju pendinginan heat sink yang tertinggi.

Kata kunci : swirl fan, heat sink, crosscut, hambatan termal

Abstract

This Research Report describes fan swirl effect on heat transfer of heat sink. The air flow was spread out by fan making a swirled airflow behind it. In this swirl flow, direction and velocity of the airflow has been changed. Fan swirl effect was used on cooling a crosscut heat sink. Here, the result of experiment with and without swirled airflow was compared. The experiment shows that swirled airflow enhances cooling rate of the heat sink by reducing its case-to-air thermal resistance, θ_{ca} . Among the three variation of airflow rate given (2,8 m/s; 4,3 m/s; dan 6,6 m/s), the smallest one gives the highest cooling rate of the heat sink.

Keywords : swirl fan, heat sink, crosscut, thermal resistance.

DAFTAR NOTASI

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)

c = Kalor jenis ($J/kg \cdot ^\circ C$)

\dot{E}_{in} = Energi yang masuk (inflow energy) (Watt)

\dot{E}_g = Energi yang dibangkitkan
(generation energy) (Watt)

\dot{E}_{out} = Energi keluar (outflow energy) (Watt)

\dot{E}_{st} = Energi dalam (energi yang tersimpan /
storage energy) (Watt)

h = Koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

k = Konduktivitas termal bahan ($W/m \cdot ^\circ C$)

P = Daya listrik (Watt)

q_k = Laju perpindahan kalor konduksi (Watt)

q_h = Laju perpindahan kalor konveksi (Watt)

q_r = Laju perpindahan kalor radiasi (Watt)

T_1 = Temperatur awal ($^\circ C$)

T_2 = Temperatur akhir ($^\circ C$)

T_i = Temperatur awal ($^\circ C$)

T_o = Temperatur akhir ($^\circ C$)

T_∞ = Temperatur udara ($^\circ C$)

T_{case} = Temperatur elemen pemanas ($^\circ C$)

T_{ambien} = Temperatur udara masuk ($^\circ C$)

t = Waktu (s)

V = Volume benda (m^3)

x = Jarak perpindahan kalor pada arah x (m)

ϵ_1 = Emisivitas Benda

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann ($W/m^2 \cdot K^4$)

θ_{ca} = Hambatan termal ($^\circ C \cdot m^2/W$)

ρ = Densitas (kg/m^3)

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan proses perpindahan kalor terus berkembang seiring perkembangan teknologi. Salah satu aplikasi teknologi saat ini adalah elektronika. Proses pendinginan sangat dibutuhkan oleh komponen elektronika untuk memperpanjang umur dari komponen dan juga untuk menjaga agar komponen tidak cepat panas. Dewasa ini, terjadi perkembangan positif terhadap penelitian tentang bagaimana cara meningkatkan laju perpindahan kalor komponen elektronika. Ada berbagai metode pendinginan komponen. Salah satu metode adalah pemanfaatan elemen penghantar kalor dengan bentuk geometri sedemikian rupa sehingga pendinginan yang terjadi maksimum dan efisien. Metode lainnya adalah penambahan kecepatan aliran fluida pendingin. Pada pengujian kali ini digunakan efek swirl fan. Dimana pemakaian swirl fan berakibat pada perubahan arah dan besar kecepatan aliran fluida uji serta peningkatan tingkat atau level turbulensinya. Sehingga diharapkan efek ini dapat meningkatkan laju pendinginan komponen. Oleh karena itu, tujuan dari pengujian ini adalah Mengetahui pengaruh swirl fan terhadap laju pendinginan komponen, mengetahui pengaruh kecepatan udara terhadap laju perpindahan kalor dan membandingkan hasil pengujian swirl fan pada crosscut fin dan extruded fin. Selama Pengujian berlangsung, temperatur sirip dinyatakan stedi pada

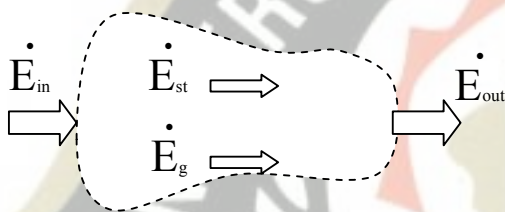
¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

$\frac{\Delta T}{dt} = 0,07^\circ\text{C}/\text{min}$ dan variasi kecepatan udara pendingin yang diberikan adalah 2,8; 4,3 dan 6,6 m/s.

2. LANDASANTEORI

2.1 Kekekalan Energi Volume Atur

Termodinamika dan perpindahan kalor adalah dua ilmu pengetahuan yang saling melengkapi. Contohnya, dalam setiap analisis perpindahan kalor, hukum termodinamika pertama memegang peranan yang sangat penting. Pada gambar 2.1 di bawah ini, ditunjukkan penerapan hukum termodinamika pertama tentang kekekalan energi dari suatu volume atur (*control volume*). Volume atur adalah suatu ruang yang dibatasi oleh permukaan atur (*control surface*) dimana energi dan bahan (material) akan lewat (mengalir). Sedangkan permukaan atur adalah geometri batas yang membentuk volume atur^[6].



Gambar 2.1 Kekekalan energi suatu volume atur^[6]

Berdasarkan gambar 2.1, maka persamaan kekekalan energi dapat dituliskan dengan :

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{st}}{dt} \cong \dot{E}_{st} \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 digunakan pada suatu waktu tertentu (sesaat, *instant of time*). Sedangkan, pada selang waktu (*time interval*) tertentu, maka persamaan kekekalan energi diperoleh dengan mengintegralkan persamaan 2.1 terhadap waktu, yaitu :

$$E_{in} + E_g - E_{out} = \Delta E_{st} \quad (2.2)$$

Jadi, jumlah energi yang masuk (*inflow energy*, E_{in}) dan energi yang dibangkitkan (*generation energy*, E_g) akan menambah jumlah energi dalam (energi yang tersimpan / *storage energy*, ΔE_{st}) dalam volume atur.

Sedangkan energi keluar (*outflow energy*, E_{out}) akan mengurangi energi dalam (*storage energy*, ΔE_{st}).

2.2 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor (*heat transfer*) adalah perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur.

Jadi, temperatur adalah potensial pendorong (*driving potential*) bagi berlangsungnya perpindahan kalor^[3]. Perpindahan kalor dapat terjadi secara konduksi, konveksi maupun radiasi.

2.2.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah perpindahan energi dari partikel suatu material atau bahan yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang energinya lebih rendah dikarenakan adanya interaksi antar partikel tersebut^[6].

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Perpindahan kalor secara konduksi pada dasarnya dapat terjadi dalam dua keadaan, yaitu^[5] :

a) Konduksi Keadaan Tunak

(*Steady-state Conduction*)

Perpindahan kalor secara konduksi pada keadaan tunak terjadi apabila temperatur tidak berubah menurut waktu.

b) Konduksi Keadaan Tak-tunak

(*Unsteady-state Conduction*)

Perpindahan kalor secara konduksi pada keadaan tak-tunak terjadi jika terjadi perubahan temperatur terhadap waktu. Penyelesaian masalah perpindahan kalor konduksi tak tunak ini relatif lebih rumit dibandingkan dengan konduksi tunak. Dalam proses pemanasan atau pendinginan *transient* (berlangsung sebelum tercapainya keseimbangan), analisis yang akan digunakan memperhitungkan perubahan energi-dalam (*internal energy*, *storage energy*) benda menurut waktu. Demikian pula kondisi atau syarat-syarat batas (*boundary condition*) disesuaikan agar cocok dengan situasi fisik yang terdapat dalam perpindahan kalor keadaan tak-tunak. Persamaan penurunan energi dalam dinyatakan dengan :

$$\dot{E}_{st} = -\rho V c \frac{dT}{dt} \quad (2.4)$$

2.2.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi terjadi dimana sebuah benda dengan sumber kalor berinteraksi dengan fluida yang ada di sekitar benda tersebut atau kebalikannya. Perpindahan kalor secara konveksi dibedakan menjadi 2, yaitu:

a) Konveksi Alami

Konveksi alamiah adalah peristiwa konveksi dimana fluida pendingin mengalir secara alami tanpa adanya bantuan suatu alat tertentu. Pergerakan fluida yang terjadi disebabkan oleh adanya gaya apung (*buoyancy force*) yang meningkat karena perbedaan kerapatan (*densitas*) seiring perubahan temperatur di dalam fluida^[6].

b) Konveksi Paksa

Konveksi paksa terjadi dimana fluida pendingin dialirkan oleh alat bantu seperti fan, pompa atau kompresor. Sehingga, pergerakan fluida yang terjadi tidak alami, tetapi karena digerakkan atau dipaksa bergerak oleh alat bantu.

$$q_h = hA(T_w - T_\infty) \quad (2.5)$$

2.2.3 Perpindahan Kalor Radiasi

Perpindahan kalor secara radiasi adalah proses perpindahan kalor dimana energi dipancarkan oleh suatu benda melalui gelombang elektromagnetik. Radiasi dapat terjadi pada semua bentuk material, baik padat, cair maupun gas [6]. Dalam perpindahan kalor secara konveksi dan konduksi diperlukan adanya material perantara sedangkan radiasi tidak. Persamaan dasar untuk proses perpindahan kalor secara radiasi dari benda panas dalam ruang yang besar adalah [5] :

$$q_r = \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.6)$$

2.3 Hambatan Termal

Dalam proses perpindahan panas konveksi pada *heat sink*, terjadi hambatan kontak termal antara material padat *heat sink* dengan fluida udara.

$$q = hA (T_{case} - T_{ambien}) \quad (2.7)$$

$$q = \frac{(T_{case} - T_{ambien})}{1/(hA)} \quad (2.8)$$

Hambatan termal pada *heat sink* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [11] :

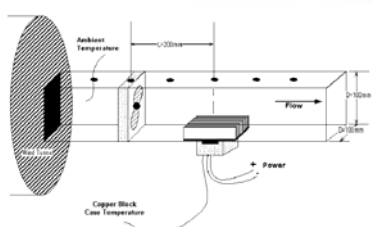
$$\theta_{ca} = \frac{1}{h.A} \quad (2.9)$$

$$\theta_{ca} = \frac{(T_{case} - T_{ambien})}{P} \quad (2.10)$$

3. PENGUJIAN

Beberapa tahapan dalam penelitian kaji eksperimental efek *swirl fan* ini, antara lain : pemahaman tujuan dan dasar teori berdasarkan literatur yang ada, desain dan pembuatan alat uji, pelaksanaan pengujian, pengolahan dan analisa data serta pembahasan hasil perhitungan.

3.1 Instalasi Pengujian



Gambar 3.1 Skema Sistem Pengujian [11]

Skema sistem pengujian ditunjukkan pada gambar 3.1. Aliran fluida pendingin (udara) dari blower mengalir melalui *wind tunnel* dan melewati *fan* yang berada di tengah saluran. Besar dan arah aliran udara diubah oleh fan. Proses perubahan ini berakibat pada terbentuknya efek *swirl fan* di belakang fan. Kemudian, aliran udara dengan efek *swirl fan* itu digunakan untuk mendinginkan sirip *heat sink* yang terhubung dengan elemen pemanas. Instalasi pengujian ini secara umum dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peralatan Uji

3.2 Spesifikasi Peralatan Uji

Alat-alat yang diperlukan untuk instalasi pengujian antara lain: saluran udara (*wind tunnel*), *blower*, *fan*, elemen pemanas (*heater*), *heat sink*, alat ukur temperatur dan alat ukur kecepatan aliran udara. Pada pengukuran temperatur digunakan dua alat ukur, yaitu *thermocouple* dan *hot-wire anemometer*. Hasil pengukuran *thermocouple* adalah data temperatur elemen pemanas. Sedangkan, *hot-wire anemometer* dilengkapi dengan dua sensor. Sensor pertama berfungsi sebagai alat ukur kecepatan aliran udara dan sensor kedua adalah sensor temperatur. Dalam pengujian kali ini, sensor kedua *hot-wire anemometer* digunakan untuk pengukuran temperatur ambien pada sisi inlet.

3.3 Prosedur Pengujian

Pengujian terbagi dalam dua kategori yaitu pengujian dengan dan tanpa efek *swirl fan*. Variasi daya input yang diberikan adalah 95, 100, 105, 110, 115 dan 120 Watt. Pada setiap variasi daya akan dialirkan udara oleh blower dengan kecepatan 2,8 m/s, 4,3 m/s dan 6,6 m/s. Pengujian dimulai dari input daya terkecil (90 Watt) dan dilanjutkan dengan daya-daya yang lebih besar. Prosedur pengujian pada setiap input daya dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

- Pengukuran temperatur stedi :
 - memberikan input daya listrik terhadap elemen pemanas.
 - mengukur perubahan temperatur sampai diperoleh kondisi stedi pada elemen pemanas ($\frac{dT}{dt} < 0,07 \text{ }^\circ\text{C/min}$).
- Pengujian tanpa pemakaian efek *swirl fan* :
 - memberikan input daya listrik terhadap elemen pemanas.
 - menunggu perubahan temperatur elemen pemanas sampai diperoleh kondisi stedi ($\frac{dT}{dt} < 0,07 \text{ }^\circ\text{C/min}$).

3. menyalakan blower dan mengatur kecepatan alir udara di dalam saluran sebesar 2,8 m/s.
 4. mencatat perubahan temperatur elemen pemanas dan temperatur ambien secara bersamaan setiap 10 detik selama 10 menit.
 5. setelah selesai, melanjutkan pengujian untuk variasi kecepatan berikutnya yaitu 4,3 m/s dan terakhir adalah 6,6 m/s.
- c) Pengujian dengan pemakaian efek *swirl fan* :
 Prosedur pengujian yang dilakukan sama dengan pengujian tanpa pemakaian efek *swirl fan*. Namun, dalam pengujian kali ini terlebih dahulu dilakukan pemasangan fan sejauh 5 cm dari *heat sink* pada sisi inlet.

4. HASIL PENGUJIAN

Pengujian efek *swirl fan* terhadap laju perpindahan kalor yang terjadi pada *heat sink* telah dilakukan. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan hasil pengujian tanpa menggunakan *swirl fan*. Pengujian pada setiap daya input (95, 100, 105, 110, 115 dan 120 Watt) dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu pengukuran temperatur stedi, pengujian tanpa pemakaian efek *swirl fan*, pengujian dengan pemakaian efek *swirl fan*. Pengujian yang pertama dilakukan adalah mengukur temperatur stedi pada setiap daya input yang diberikan.

Daya (Watt)	Temp. Stedi
95	139
100	147
105	150
110	154
115	161
120	166

Tabel 4.1 Temperatur stedi

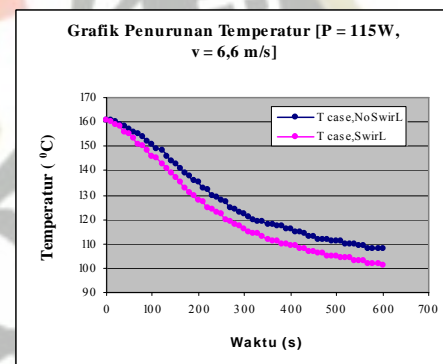
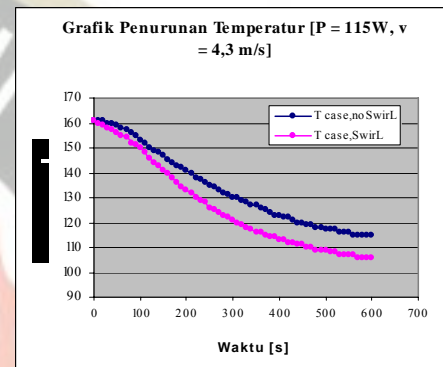
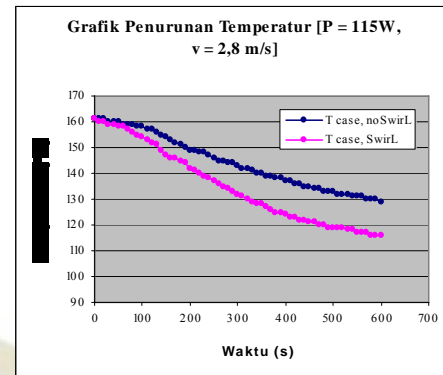
Kecenderungan hasil pengujian pada setiap variasi kecepatan aliran udara pendingin dengan rentang daya 95 s/d 120 Watt menunjukkan pola yang sama. Oleh karena itu, setiap penyajian hasil pengujian dalam makalah ini hanya diambil pada satu daya tertentu.

4.1 Penurunan Temperatur Case Terhadap Waktu

Penurunan temperatur dengan pemakaian *swirl fan* akan cenderung lebih curam bila dibandingkan dengan tanpa pemakaian *swirl fan*. Dengan kata lain, pada selang waktu yang sama, dengan pemakaian *swirl fan* temperatur *case* akhir yang dihasilkan akan lebih kecil atau lebih turun.

Kec. (m/s)	tanpa swirl	dengan swirl
2,8	32	45
4,3	46	55
6,6	53	60

Tabel 4.2 Penurunan Temperatur, ΔT (°C) Daya 115 Watt



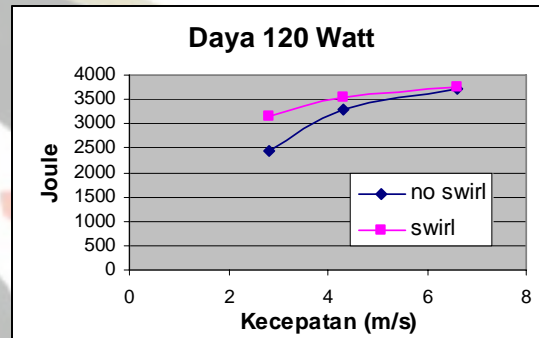
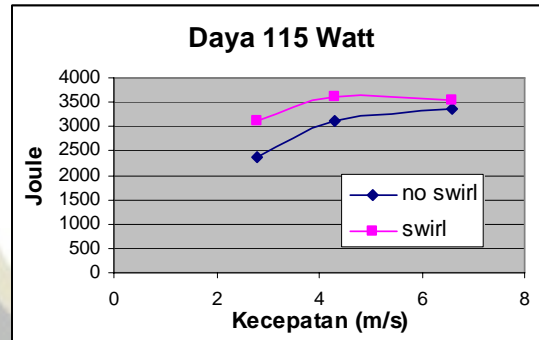
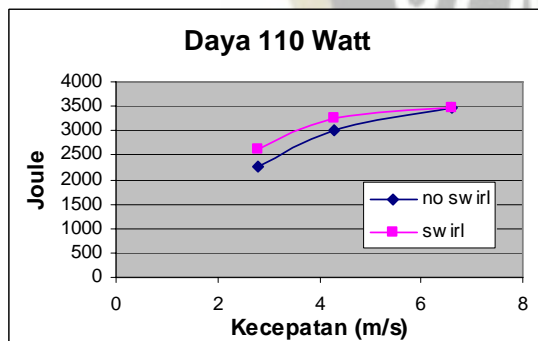
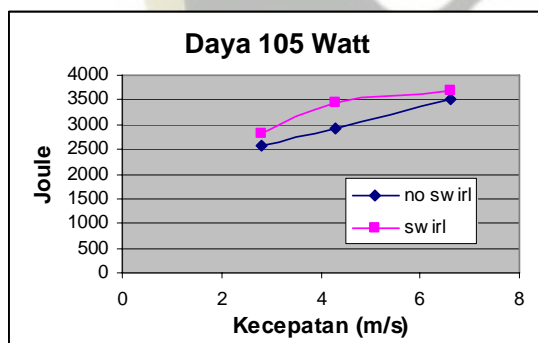
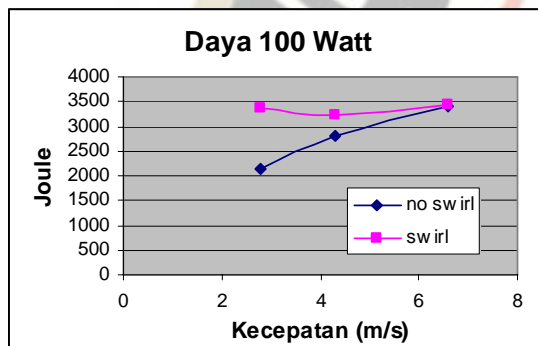
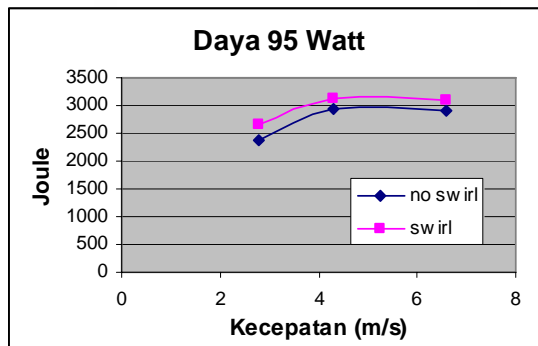
Gambar 4.1 Grafik penurunan temperatur *case* terhadap waktu selama 600 detik Pengujian

Grafik penurunan temperatur *case* terhadap waktu pada ketiga variasi kecepatan (2,8 m/s ; 4,3 m/s; dan 6,6 m/s) dalam satu daya input menunjukkan bahwa jumlah penurunan temperatur pada pengujian dengan pemakaian *swirl fan* lebih besar bila dibandingkan dengan pengujian tanpa efek *swirl fan*. Jadi, pemakaian *swirl fan* berakibat pada kenaikan laju penurunan temperatur atau laju pendinginan *heat sink*. Pada gambar 4.1 ditunjukkan adanya perbedaan pola penurunan temperatur antara pengujian dengan dan tanpa pemakaian *swirl fan* pada daya 115 Watt.

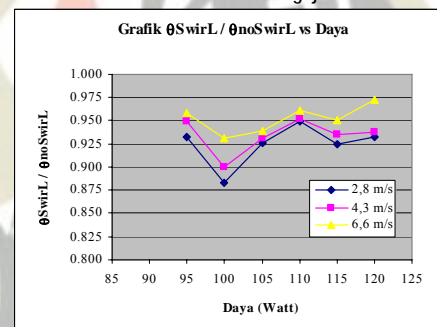
4.2 Perhitungan Konduksi

Berdasarkan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa pada daerah kecepatan udara rendah, nilai penurunan energi dalam ΔE_{st} akibat proses pendinginan dengan

menggunakan *swirl* lebih besar daripada hasil pengujian tanpa menggunakan *swirl*. Namun, semakin besar kecepatan udara, pengaruh *swirl fan* terhadap nilai penurunan energi dalam, ΔE_{st} juga semakin berkurang. Hal ini ditunjukkan dengan semakin besar kecepatan udara maka jarak selisih kurva penurunan energi dalam hasil pengujian dengan *swirl* terhadap kurva penurunan energi dalam hasil pengujian tanpa *swirl* semakin menyempit.



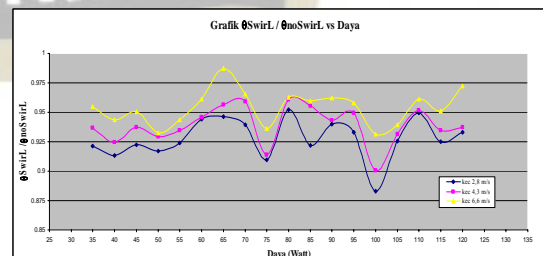
Gambar 4.2 Grafik Penurunan Energi Dalam Heater Selama 600 detik Pengujian



Gambar 4.3 Grafik perbandingan hambatan termal terhadap daya input

4.3 Hambatan Termal

Grafik perbandingan hambatan termal terhadap daya input dengan rentang 95 s/d 120 Watt ditunjukkan oleh gambar 4.3. Namun perlu diketahui, bahwa sebelumnya telah dilakukan pengujian pada rentang daya 35 s/d 90 Watt dengan menggunakan alat uji yang sama.

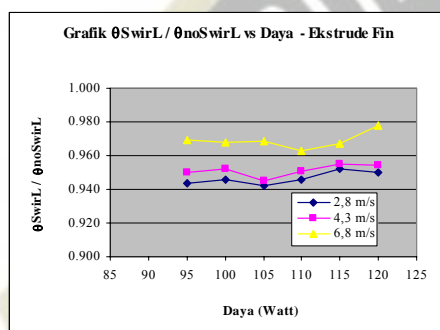


Gambar 4.4 Grafik perbandingan hambatan termal terhadap daya input 35 s/d 120 Watt

Oleh karena itu, apabila hasil keseluruhan digabung menjadi satu maka akan dihasilkan suatu grafik seperti ditunjukkan oleh gambar 4.4.

Berdasarkan gambar 4.3 dan gambar 4.4, dapat dilihat bahwa hasil pengujian selama rentang daya 35 s/d 120 Watt menunjukkan kecenderungan yang sama. Kecenderungan yang dimaksud antara lain :

1. Pemakaian *swirl fan* dapat meningkatkan laju perpindahan kalor *heat sink*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai hambatan termal kurang dari satu.
2. Laju perpindahan kalor terbesar dicapai pada kecepatan aliran udara terkecil, yaitu 2,8 m/s. Hal ini ditunjukkan dengan nilai hambatan termal pada kecepatan aliran udara 2,8 m/s yang kecil. Gambar 4.3 dan gambar 4.4 menyatakan semakin besar kecepatan aliran udara pendingin maka nilai hambatan termal semakin kecil.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan hambatan termal terhadap daya input pada *ekstrude fin*

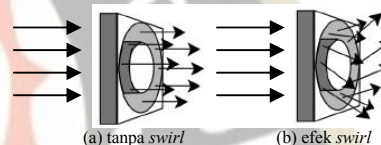
Tipe Fin	kec 2,8 m/s	kec 4,3 m/s	kec 6,6 m/s
<i>Crosscut Fin</i>	0.925	0.934	0.952
<i>Ekstruded Fin</i>	0.947	0.951	0.969

Tabel 4.3 Nilai rata-rata perbandingan hambatan termal

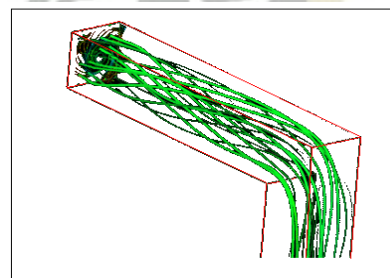
Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai rata-rata perbandingan hambatan termal proses pendinginan *crosscut fin* pada semua daya input dan variasi kecepatan mempunyai harga yang lebih kecil dibandingkan dengan proses pendinginan *ekstruded fin*. Hal ini disebabkan karena luas bidang permukaan perpindahan kalor pada *crosscut fin* lebih besar daripada *ekstruded fin*. Semakin besar luas bidang permukaan perpindahan kalor maka semakin besar bidang permukaan kontak antara benda yang didinginkan dengan fluida pendinginnya. Oleh karena itu, luas bidang permukaan perpindahan kalor yang besar menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan kalor. Hal ini sesuai dengan persamaan dasar perpindahan kalor secara konveksi, yaitu persamaan 2.5. Persamaan 2.5 secara tegas menjelaskan bahwa laju perpindahan kalor berbanding lurus dengan luas bidang perpindahan kalor. Semakin besar luas bidang perpindahan kalor, maka semakin besar pula laju perpindahan kalor yang terjadi.

5. PEMBAHASAN

Swirl fan berakibat pada perubahan arah dan besar aliran udara. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan momentum yang dialami oleh partikel udara akibat bertumbukan dengan *impeller fan*. Aliran yang dihasilkan setelah melewati *fan* adalah berupa aliran yang berputar dengan besar kecepatan alir yang mengecil dan cenderung semakin *turbulen*. *Swirl fan* berakibat pada distribusi aliran udara yang merata, bertahan dalam waktu yang relatif lebih lama daripada kondisi aliran biasa. Selain itu, fluktuasi kecepatan ke segala arah akan meningkatkan intensitas turbulensi aliran udara. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan kalor. Pernyataan ini didukung oleh Temmerman yang menyatakan bahwa "untuk komponen yang berada di dekat *fan*, aliran *swirl* akan meningkatkan perpindahan kalor lokal" [7]. Temmerman juga berkesimpulan bahwa *swirl fan* mengakibatkan turbulensi di dekat *fan* sehingga meningkatkan koefisien perpindahan kalor.



Gambar 4.6 Pola aliran dengan dan tanpa *swirl* [7]



Gambar 4.7 *Swirled airflow* di dalam saluran [15]

6. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari percobaan ini adalah :

1. Nilai laju penurunan temperatur hasil pengujian dengan pemakaian *swirl fan* pada rentang daya input 95 s/d 120 Watt dan variasi kecepatan 2,8; 4,3 dan 6,6 m/s lebih besar daripada laju penurunan temperatur hasil pengujian tanpa *swirl fan*.
2. Penerapan *swirl fan* berakibat pada kenaikan intensitas turbulensi di dekat *fan* sehingga meningkatkan laju perpindahan kalor.
3. Pada rentang variasi kecepatan udara pendingin yang diberikan (2,8; 4,3 dan 6,6 m/s) diketahui bahwa semakin kecil kecepatan udara pendingin maka pengaruh efek *swirl fan* terhadap laju

perpindahan kalor dan penurunan energi dalam akan semakin besar.

4. Nilai rata-rata perbandingan hambatan termal proses pendinginan dengan *crosscut fin* pada rentang daya input 95 s/d 120 Watt dan variasi kecepatan 2,8; 4,3 dan 6,6 m/s mempunyai harga yang lebih kecil dibandingkan dengan proses pendinginan dengan *ekstruded fin*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bennet, C.O and Myers, J.E, *Momentum, Heat, and Mass Transfer 2nd Edition*, McGraw-Hill International Book Co., Singapore, 1975.
2. Fox, Robert W and Alan T. Mc Donald, *Introduction to Fluid Mechanics, fourth edition, SI Version*, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1994.
3. Gupta, V and Srinivasan, J, *Heat and Mass Transfer*, Tata McGraw-Hill Publishing Co.Ltd, New Delhi, 1982.
4. Harahap F, Perkins H.C and Reynold W.C, *Termodinamika Teknik*, Erlangga, Jakarta, 1994.
5. Holman, J.P., *Perpindahan Kalor edisi ke enam*, Erlangga, 1988.
6. Incropera, F.P and De Witt D.P, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Third Edition, John Wiley & Sons, 1990.
7. Kordiban, T, *Fan swirl and Planar Resistance Don't Mix*, paper, Tellabs.
8. Kreith, F, *Prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta, 1986.
9. R.Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N.Lightfoot, *Transport Phenomena*, John Wiley & Son, 1960.
10. Smith, C.O, *The Science Of Engineering Materials 3rd Edition*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1986.
11. Thurlow, E, Prather, E and Mansingh, V, *Fan Swirl Effects on Cooling Heat Sinks and Electronic Packages*, paper, Santa Clara.
12. www.digit-life.com, *Cooling system Part 1: Proces sor Coolers*.
13. www.efunda.com, *Ho-Wire Anemometers : Intro duction*.
14. www.efunda.com, *Ho-Wire Anemometers : Theory*.
15. www.exa.com, *Power Flow : Apllications – Fan Models*.